

天然气净化装置的能耗分析及优化

鲍虎

(延长石油油气勘探公司采气一厂 陕西 延安 716000)

[摘要]天然气为当前生产和生活必不可少的能源,而且其在未来也是主要的能源。目前,我国所开发天然气中的含硫成分较大,为保证其在使用过程中减少对环境的污染,需对天然气进行脱硫处理,具体通过脱硫装置将天然气中的二氧化碳和硫化氢气体进行消除处理。但是,当天然气中的硫化氢含量较高时对应净化装置的能耗较高、工艺流程复杂,而且还会加剧对设备的腐蚀,间接增加了净化成本。本文重点对天然气净化装置的能耗进行分析,并针对性地提出降低能耗的措施。

[关键词]天然气;净化装置;能耗

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.10.2005

引言

由于其天然气酸性组分浓度大,以致相应净化装置具有工艺流程复杂、单位能耗高和介质腐蚀性强的特点。降低装置耗能量,符合我国能源体系清洁低碳、安全高效的建设需求,也有利于增加企业经济效益。净化工艺的研究主要体现在新溶剂的开发,以空间位阻胺为代表的第三代脱硫溶剂是重要方向之一,目前正处于工业试验阶段;对于已投产净化装置的节能降耗,上述研究内容具有一定的局限性,难以满足现场生产需求。本文对某天然气净化装置生产过程中,各单元设备的工作介质消耗进行现场标定,采用《石油化工设计能耗计算标准》中规定的方法进行能耗计算;通过对标设计值,分析各单元及其主要设备用能变化的原因,以得到相应的优化参数和改造方案,可为现场生产管理提供借鉴。

一、脱硫装置现状

目前,进料气中以CH₃SH等为主的有机硫含量较高,组成如表1所示。如表2所示,脱硫装置设计与实际运行参数相比发生了明显变化,进料气量由40×104m³/d降至22×104m³/d,但H₂S含量增加了一倍至40000mg/m³,有机硫含量增加了六倍达到了700mg/m³,总的脱硫负荷达到了10.5t/d,超出了设计脱硫负荷。如图1所示,由于该油田开发初期的天然气中有机硫含量较低,脱硫装置一直采用单一-MDEA胺法脱硫工艺,主要脱除进料气中的H₂S。脱硫单元:来自增压单元的天然气进入酸气过滤分离器,分离凝液后的含硫天然气进入MDEA吸收塔底部,与经过贫液冷却器冷却后的再生贫液在MDEA吸收塔中逆向接触,脱除H₂S及有机硫的出料气从吸收塔顶部经过出料气分离器后外输。MDEA再生单元:吸收硫组分后的富胺液从MDEA吸收塔底出来降压后进入闪蒸罐进行闪蒸分离,液相过滤杂质后与MDEA贫液进行换热再进入MDEA再生塔,再生后的贫液从塔底重沸器流出,经增压、冷却后进入MDEA吸收塔。从MDEA再生塔塔顶出来的气相被冷凝后进入塔顶回流罐,未冷凝的气相至硫磺回收单元,液相经增压后返回塔顶。

表1 进料气组成(干基)

组分	物质的量分数/%	组分	物质的量分数/%	组分	含量/mg m ⁻³
CH ₄	44.079	C ₂	2.579	COS	18.16
C ₂ H ₆	9.666	O ₂	0.100	CH ₃ SH	576.43
C ₃ H ₈	8.166	He	0.020	C ₂ H ₅ SH	89.68
i-C ₄ H ₁₀	1.709	H ₂	0.100	CS ₂	12.69
n-C ₄ H ₁₀	5.507	CO ₂	6.157		
i-C ₃ H ₁₂	2.479	N ₂	13.394		
n-C ₃ H ₁₂	3.328	H ₂ S	2.669		

表2 脱硫装置设计与实际运行参数

项目	装置设计参数	实际运行参数
进料气量/10 ⁴ m ³ d ⁻¹	40	22
进料气 H ₂ S 含量/mg m ⁻³	20000	40000
进料气有机硫含量/mg m ⁻³	100	700
出料气 H ₂ S 含量/mg m ⁻³	≤20	37
出料气有机硫含量/mg m ⁻³	≤100	84
脱硫负荷/t d ⁻¹	8.05	10.5
进料气温度/℃	53	50
进料气压力/MPa	2.5	2.5
脱硫剂配比(MDEA)% (质量分数)	40	40
MDEA 溶液循环量/m ³ h ⁻¹	26	22-24

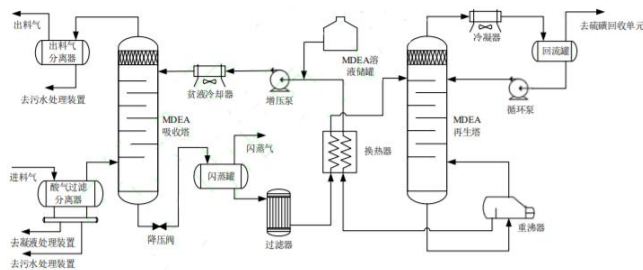


图1 脱硫装置工艺流程图

二、能耗分析

E-104的低压蒸汽用量过大,分析其原因主要为该单元贫富液换热器E-101换热效率低于预期,同时重沸器老化及换热器管束结垢导致传热效率差也是重要原因。脱水单元重沸器E-202的高压蒸汽用量严重超标,分析其原因因为净化装置自开工以来,胺液系统发泡严重,发生过数次冲塔事件,大量胺液带入脱水系统,TEG重沸器温度较高,加速了胺液的降解,降解产物附着在E-202蒸汽换热U型管上造成管道热阻大幅增加,导致换热效率急剧下降。为维持产品气水露点符合GB17820-2018规定,采取增大高压蒸汽用量的方式来保证TEG重沸器的再生质量,但是TEG重沸器的温度依然距设计指标202℃有较大差距。C-203的汽提气略高,也是为辅助配合提高TEG的再生质量。硫磺回收单元作为热量回收设备最多的单元,标定的能量输出高出设计值10575.5MJ/h,主要是D-302的高压蒸汽产量较设计值大幅提升。由于原料气中的H₂S含量已由前期的5.55%(体积分数,下同)增大至6.24%,进入克劳斯炉内燃烧转化的酸性气量增大,锅炉给水量增大约3.2t/h,蒸汽输出增大12158.4MJ/h。同理,随着克劳斯一级转化器R-301和克劳斯二级转化器R-302硫磺回收量的增加,E-302和E-304的低压蒸汽产量增大,E-303和E-305高压蒸汽输入量则可以通过调节相应前段的换热器负荷实现降量。由于装置内的高压蒸汽管网较长,经标定其散热损失量高达6091.4MJ/h,ST-301投用的高压过热蒸汽温度从设计的400℃降为370℃左右,造成高压过热蒸汽用量显著增大,因此,做好高压蒸汽管线的保温工作是进一步降低硫磺回收单元能耗的重要措施。这表明装置的重沸器换热效果大幅降低,当发生严重的再生效果不合格时将导致产品气含硫量、水露点和净化水水质的超标外输。

三、天然气净化装置能耗优化

(一) 优化策略

影响天然气脱硫单元能耗的因素众多。因此,需通过实际状况对可调变量进行优化控制,并以能耗为目标函数得出能耗最低的工艺。具体涉及到的可调变量包括有吸收塔的压力、温度,中间胺液泵流量、再生塔低贫胺液泵流量、贫胺液泵流量和重沸器蒸汽流量等。总的来讲,目标函数的确定对于净化装置的能耗优化尤为重要。如果简单的通过脱硫

单元进行优化，直接手段为降低溶液的循环量、减少低压蒸汽和机泵的用电量，其带来的直接影响为降低操作成本，但是对应的可能导致脱硫效果不佳、天然气产品质量较差。因此，要综合各方面的因素建立目标函数。最终通过判断单位天然气的能耗为目标函数，重点决策变量如表3所示。基于遗传算法得出上述5个变量对应处理单位天然气能耗结果如表3所示。如表3所示，上述5种相对较优的方案中重沸器蒸汽流量和原料气流量的差异较小。而且，1#方案对应的处理单位天然气的能耗最小。因此，在现场各方面条件允许的情况下，可以采用1#方案中各个关键参数的指标对系统的控制，从而达到工艺参数优化的目的，最终在保证产品质量的同时，消耗最低的能量。在当前生产任务的前提下，最终确定天然气净化装置的最小能耗工艺如下：重沸器蒸汽流量为35.1t/h；中间胺液泵流量为192.2t/h；再生塔底贫胺液泵流量为433.9t/h；贫胺液泵流量为184.0t/h；原料气体流量为12.5t/h。

表3 天然气净化工艺参数优化方案及结果

变量	1#方案	2#方案	3#方案	4#方案	5#方案
重沸器蒸汽流量 /t·h ⁻¹	35.1	35.2	35.1	35.0	35.0
中间胺液泵流量 /t·h ⁻¹	192.2	197.1	195.5	198.4	198.0
再生塔底贫胺液泵流量 /t·h ⁻¹	433.9	506.0	422.0	421.4	447.7
贫胺液泵流量 /t·h ⁻¹	184.0	192.9	203.3	182.9	204.2
原料气流量 /t·h ⁻¹	12.5	12.5	12.5	12.4	12.5
标煤能耗 /kg·万 m ³	311.4	314.39	313.74	312.06	313.76

(二) 再生塔压力与能耗、再生效果的关系

再生塔的能耗主要来源于重沸器，评价再生效果的一个重要指标是贫胺液中硫化氢负荷和二氧化碳负荷。图2给出了再生塔压力对重沸器能耗和贫胺液中硫化氢、二氧化碳负荷的影响。图2(a)给出了在塔顶压力100kPa的条件下，重沸器负荷和再生效果随塔底压力的变化；图2(b)给出了在塔

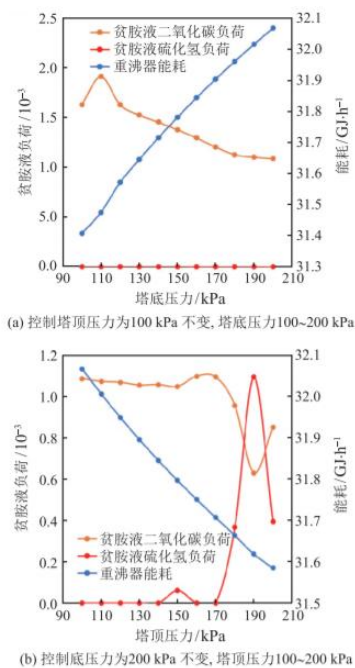


图2 再生塔压力对重沸器能耗和贫胺液负荷的影响

底压力200kPa的条件下，重沸器负荷和再生效果随塔顶压力的变化。对比图2(a)、(b)发现，重沸器能耗随着塔底压力的升高而升高，随着塔顶压力的升高而降低，也许这是因为塔底主要是液相，塔底温度主要是受泡点温度的影响；塔顶主要是气相，温度主要受露点温度影响。因此降低塔底压力、升高塔顶压力、减少塔顶塔底的压差有利于降低重沸器的能耗。从再生效果来看，塔底压力的升高对贫胺液中硫化氢负荷没有影响，贫胺液中二氧化碳负荷略有降低（降幅为0.0005）。在塔顶压力小于170kPa时，贫胺液中硫化氢负荷几乎没有变化，在塔顶压力大于170kPa时，硫化氢负荷大幅度上升。综合考虑压力对重沸器能耗的影响，可以得出再生塔的压力设置在150kPa左右，既能保证较好的再生效果，又具有较低的重沸器能耗。

(三) 管理保障措施

利用HAZOP、SIL、RBI、RCM等工具方法，对工艺、设备、仪表、电气运行状况进行风险分析与评价，评估装置存在问题及隐患对生产运行的影响程度，作为调整检修的依据与指南。2013年至今，在运行一半天然气净化厂已成功运用风险分析与评价，推迟天然气净化装置检修周期，同时实现检修周期推迟期间的平稳运行。对于非检修年度，因天然气净化装置连续运行增加的日常运行维护、装置能耗、备品备件、生产现场管理提升等费用，需调整生产单位生产成本。建立长周期运行激励机制，对于实现长周期平稳运行的生产单位，结合天然气净化装置检修、临停次数、质量安全环保等情况实行专项奖励。上游清管、调产、开井等操作，通过工作联络单及时告知下游天然气净化厂做好应对操作；下游天然气净化装置发现气质异常、紧急停产等情况，及时告知上游作业区积极排查和响应配合。树立大开发理念，全面推行上下游一体化管理。新型脱硫溶剂，应用空间位阻胺脱硫配方溶剂和高效有机硫脱除溶剂，降低CO₂共吸率，提高有机硫脱除，提高天然气商品气率与质量；新型催化剂，应用尾气低温加氢催化剂，降低反应器入口温度要求，促进加氢水解。应用高分子陶瓷金属涂层，内涂换热设备花板、内浮头盖，液硫储罐上部气相空间等，降低脱硫溶液、循环水质、酸性环境等引起的腐蚀和冲蚀，提高设备抗腐蚀能力，确保设备本质安全。

结束语

天然气为当前生产和生活中主要的动力能源之一，但是天然气中包含有二氧化碳和硫化氢等杂质。其中，二氧化碳作为废料会降低天然气的质量，而硫化氢会导致环境污染。因此，对天然气脱硫操作是必不可少的。目前，针对天然气脱硫装置的主要问题在于能耗过大，本文重点对能耗进行分析，并针对性地提出优化工艺。

参考文献

- [1] 王季秋. 煤制天然气工艺能耗分析及节能措施探讨[J]. 化工管理, 2019(33): 188-189.
- [2] 仇芝勇. 天然气净化厂节能减排措施探索与应用[J]. 硫酸工业, 2019(10): 22-27.
- [3] 井晓燕. 天然气净化系统能耗分析及其节能优化研究[D]. 西安石油大学, 2019.
- [4] 陈艺为. 某天然气脱硫装置适应性分析及操作参数优化研究[D]. 重庆科技学院, 2019.
- [5] 刘柯宏. 天然气脱硫装置的主要能耗分析及节能途径研究[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(07): 97.
- [6] 王宇. 天然气净化厂用能分析及节能技术研究[D]. 西南石油大学, 2018.
- [7] 宋钊. 天然气净化装置低负荷运行节能措施探讨[J]. 化工管理, 2018(07): 62.